

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-090688

(43)Date of publication of application : 30.03.1990

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 63-245027

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 28.09.1988

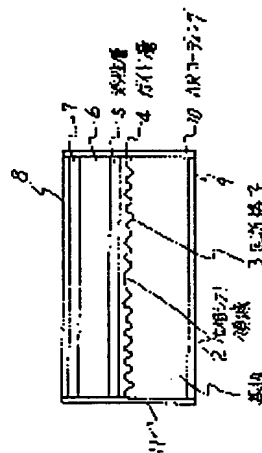
(72)Inventor : YAMAGUCHI MASAYUKI

## (54) DISTRIBUTED FEEDBACK TYPE SEMICONDUCTOR LASER

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain a semiconductor laser which is excellent in a low threshold operation and a high temperature operation, high in yield, and capable of oscillating in a single wavelength by a method wherein the wavelength composition of a guide layer and the shape (height and shape of crest) of the periodic irregularities of a diffraction grating are so determined as to enable a coupling coefficient which indicates the coupling strength between a periodic structure and light to be a specified value.

**CONSTITUTION:** A primary diffraction grating 3 provided with a phase shift region 2 is formed on an n-InP substrate 1, and then an n-InGaAsP guide layer 4, a non doped InGaAs active layer 5, a p-InP clad layer 6, and a P+-InGaAsP cap layer 7 are grown in crystal respectively. Electrodes 8 and 9 are provided onto the cap layer 7 and under the substrate 1 respectively, anti-reflective coatings 10 and 11 are provided to both the end faces perpendicular to the active layer 5. The height of the crest of the diffraction grating 3 is 400 $\mu$ m; and a resonator length is 300 $\mu$ m. Here, a coupling coefficient (KL) can be regulated through the wavelength composition of the guide layer 4 and the height of the crest of the diffraction grating 3. KL needs to be within the range of 1.5-2.5 so as to obtain a semiconductor laser which is operable at a low threshold, high in yield, and capable of oscillating in a single wavelength.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]



⑬ 日本国特許庁 (J P)

⑭ 特許出願公開

⑯ 公開特許公報 (A)

平2-90688

① Int. Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

② 公開 平成2年(1990)3月30日

H 01 S 3/18

7377-5F

審査請求 未請求 請求項の枚 1 (全5頁)

④ 発明の名称 分布帰還型半導体レーザ

⑤ 特 願 昭63-245027

⑥ 出 願 昭63(1988)9月28日

⑦ 発 明 者 山 口 昌 幸 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内  
 ⑧ 出 願 人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目33番1号  
 ⑨ 代 理 人 弁理士 内 原 晋

## 明 細 書

## 発 明 の 名 称

分布帰還型半導体レーザ

## 特 許 請 求 の 範 囲

光を発する活性層と、これを挟む前記活性層よりもエネルギーギャップの大きなクラッド層からなる半導体ダブルヘテロ構造を有し、前記活性層とクラッド層との間に、層厚が伝搬する光の波長の半分の整数倍の周期で変化し、エネルギーギャップが前記活性層よりも大きく且つ前記クラッド層よりも小さなガイド層を有し、前記周期構造が素子中央において伝搬する光の波長の $1/4$ の整数倍だけシフトした位相シフト型分布帰還型半導体レーザにおいて、前記周期構造と光との結合の強さを示す結合係数 $KL$ を1.5から2.5の間になるよう前記ガイド層の組成及び周期的凹凸の形状(山の高さと形)を定めたことを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

## 発 明 の 詳 細 な 説 明

## 〔産業上の利用分野〕

本発明は単一波長発振の安定性に優れた分布帰還型半導体レーザに関する。

## 〔従来の技術〕

長距離大容量の光ファイバ通信の進展に伴い、高速変調時にも単一の波長で安定に動作する分布帰還型半導体レーザ(以下DFB-LDと称する)の需要が急増している。DFB-LDは素子内部に形成された回折格子の周期性を利用して、単一の波長でレーザ発振することを特徴としている。中でも、回折格子の周期性を素子中央で伝搬波長の $1/4$ だけずらした構造の $\lambda/4$ シフト型DFB-LDは、主軸モードと副軸モードとの利得差が他のDFB構造よりも大きく、そのため高い歩留りで単一波長発振が得られる光源として、最も活発に開発が進められている。 $\lambda/4$ シフト型DFB-LDでは、回折格子による光の分布帰還により、活性層から発せられた光が効果的に

共振器内部に閉じ込められ、特に前記回折格子の周期性がシフトした素子中央部付近(位相シフト領域近傍)に光のフィールドが集中する。そのため文献(豊田他、電子情報通信学会、量子エレクトロニクス研究会予稿集、OQE86-7)にて指摘されているように、共振器方向に沿った空間的ホールバーニング現象によって素子中央付近のキャリア密度が減少し、それに伴って生じる屈折率変化により2モード発振に至るケースがよく見られる。このような空間的ホールバーニング現象は、共振方向に沿った光フィールド分布を均一化することによって防ぐことができるが、そのためには、回折格子と光との結合係数( $KL$ 、 $K$ は結合効率、 $L$ は共振器長)を小さく設定する必要がある。上記文献によれば、ホールバーニング現象を考慮した理論解析の結果、 $\lambda/4$ シフト型DFB-LDにおいて、最も歩留りよく単一波長発振を得るためには、結合係数( $KL$ )を1.2~1.3程度とすることが望ましいとしている。この設計指針に基づき、従来の $\lambda/4$ シフト型

ギャップが前記活性層よりも大きく且つ前記クラッド層よりも小さなガイド層を有し、前記周期構造が素子中央において伝搬する光の波長の $1/4$ の整数倍だけシフトした位相シフト型分布帰還型半導体レーザにおいて、前記周期構造と光との結合の強さを示す結合係数 $KL$ を1.5から2.5の間に設定したことである。

(作用)

$\lambda/4$ シフト型DFB-LDでは2つある端面の反射率が抑制されているため、レーザ発振に必要な光の帰還(又は反射)は回折格子による分布帰還のみに頼ることになる。従って結合係数 $KL$ が小さいとこの光の帰還率も低下し、発振しきい値電流を招くことになる。従って $\lambda/4$ シフト型DFB-LDの発振しきい値電流を低く抑えるためには、 $KL$ をある程度以上大きく設定する必要がある。このことは、前述のホールバーニング現象を抑制する方向とは逆向きすることでもあり、従って両者に与える影響を十分考慮した最適設計を行う必要がある。

DFB-LDでは、 $KL=1.2\sim 1.3$ 程度となる様に回折格子の山の高さを調整していた。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、従来の $\lambda/4$ シフト型DFB-LDでは確かにホールバーニング現象による2モード発振の例はほとんど観測されなかったが、発振しきい値電流が高く、且つ高温動作時、光出力の飽和傾向が他のDFB-LD構造に比べ大きいと言う問題点があった。

本発明の目的は、低しきい値動作及び高温動作に優れ、且つ高い歩留りで単一波長発振が得られる $\lambda/4$ シフト型DFB-LDを提供することにある。

(課題を解決するための手段)

本発明による分布帰還型半導体レーザの特徴は、光を発する活性層と、これを挟む前記活性層よりもエネルギーギャップの大きなクラッド層からなる半導体ダブルヘテロ構造を備え、前記活性層とクラッド層との間に、層厚が伝搬する光の波長の半分の整数倍の周期で変化し、エネルギーギ

まず発振しきい値電流の観点から $KL$ に対する規格を設定する。DFB-LDの発振しきい値利得は計算から求めることができ、一般に $\alpha_{sp}L$ と表わされる。DFB-LDを一般のファブリペロ型LDに置き換えた時の端面端面反射率は $\alpha_{sp}L$ を用いて次式で表わされる。

$$R_{eff} = \exp(-2\alpha_{sp}L)$$

ここで $\alpha_{sp}L$ は結合係数 $KL$ 及び実際の端面反射率 $R$ の関係として求めることができる。ファブリペロ型LDにおいて実験的に求めた端面反射率と発振しきい値電流 $I_{th}$ との関係と、計算から求めた $R_{eff}$ とを用いて、 $\lambda/4$ シフト型DFB-LDの場合の端面反射率 $R$ と発振しきい値電流 $I_{th}$ との関係を $KL$ をパラメータとして求めた。その結果を第4図に示す。図においてDFB-LDの発振しきい値電流 $I_{th}$ は端面反射率30%のファブリペロ型LDの発振しきい値 $I_{th}^{FP}$ で規格して表わした。図より、 $I_{th}$ は $R$ を小さくするほど上昇するがその程度は $KL$ が大きいほど小さいことが判る。実際の $\lambda/4$ シフト型DFB-LD

では $R$ は0.5~1%程度であり、この範囲で $I_{\text{TH}}$ の上昇を小さく( $I_{\text{TH}}/I_{\text{TH0}} < 1.5$ )抑えるためには、 $KL$ は1.5以上なくてはならないことになる。

次にホールバーニング現象抑制のために要求される $KL$ の規格について述べる。種々の結合係数 $KL$ を有する $\lambda/4$ シフト型DFB-LDを実際に試作し、ホールバーニング現象による2モード発振の発生頻度を調べた。結合係数 $KL$ は活性層に近接したガイド層の波長組成を変えることによって調整した。その結果を第3図に示す。この図から、ホールバーニング性2モード発振は $KL$ が2.5を超える付近から急激にその発生確率を増すことが判る。この様な2モード発振の発生確率を10%以下に抑えるためには、 $KL \leq 2.5$ を満たす必要があることが判った。

前述した様に、理論的にはホールバーニング抑制のためには $KL = 1.2 \sim 1.3$ が適当とされていたが、この実験結果より、実際には $KL = 2.5$ 程度にまで許容されることが判った。

の上及び基板1の下には電極8、9を備え、活性層5に垂直な2つの端面には無反射(AR)コーティング10、11が施されている。回折格子3の山の高さは400Åで、共振器長は300μmである。ここで結合係数 $KL$ はガイド層4の波長組成及び回折格子3の山の高さにより調整することができ、実施例では $KL = 2$ を目標として、前記波長組成を1.10μm、回折格子高さを400Åとした。実際に本素子の $KL$ を、発振しきい値電流以下にバイアスした時のスペクトル特性から見積った結果、約2.1となり目標とした値に非常に近いものとなった。100個の素子について発振スペクトル特性を評価したところ、ホールバーニング性2モード発振はほとんど見られず、その発生率は2%であった。また発振しきい値電流は平均で17mAであり、従来のファブリペロ型LDの平均値20mAよりも若干低いものが得られた。また高温動作特性にも優れており、110℃までのCW発振を得ることができた。

尚、本実施例では $KL \sim 2.0$ となることを目

以上発振しきい値電流の低減及びホールバーニング現象抑制の観点から、結合係数 $KL$ は1.5~2.5が最適範囲と言える。以下に示す実施例においては、その中央値である $KL = 2.0$ を目標として素子製作を行った結果について述べる。(実施例)

以下に本発明による実施例を図面を用いて詳細に説明する。第1図は本発明の一実施例である半導体レーザの共振器に沿った断面図である。発振波長1.3μmの $\lambda/4$ シフト型DFB-LDである。 $n$ -InP基板1の表面に周期2015Åで、素子中央に位相シフト領域2を有する1次の回折格子3を干渉露光法及びケミカルエッチング法により形成した後、波長組成1.10μmの $n$ -InGaAsPガイド層4、波長組成1.31μmのノンドープInGaAsP活性層5、 $p$ -InPクラッド層6、 $p$ -InGaAsPキャップ層7をそれぞれ厚さ0.1μm、0.1μm、2μm、0.5μmの順に結晶成長させた半導体ダブルヘテロ構造を成している。キャップ層7

係にした素子構造について述べたが、 $KL$ はこれに限らず、低しきい値且つ高い歩留りでの単一波長発振を得るためには $KL$ が1.5~2.5の範囲に入っていればよい。

前述した様に結合係数 $KL$ は回折格子3の高さ及びガイド層4の波長組成により調整できる。第2図(a)は1次の回折格子を用いた1.3μm帯 $\lambda/4$ シフトDFB-LD(共振波長300μm)における回折格子3の山の高さ $h$ と $KL$ の関係を、ガイド層4の波長組成 $\lambda_g$ をパラメータとして計算した例を示す。デバイス製作上実現可能な回折格子3の高さは $h < 600\text{Å}$ であり、また活性層5に効果的にキャリアを閉じ込めるために許容されるガイド層4の組成は $\lambda_g < 1.2\mu\text{m}$ である。このことにより、実際のデバイスにおいて、 $KL = 1.5 \sim 2.0$ を実現することのできる範囲は図中の太い実線で囲んだ部分である。従って、本発明によればこの範囲に $h$ 及び $\lambda_g$ を設定することにより、低閾値で且つ安定な単一波長発振を示す1.3μm帯 $\lambda/4$ シフト

DFB・LDが得られる。ここでパラメータ $h$ と $\lambda_g$ では $h$ の方が制御性が悪い。そこで $h$ に対する許容範囲が最も広くなるように $\lambda_g$ を設定することが好ましく、 $\lambda_g = 1.10 \mu\text{m}$ がその意味では最適である。この時 $h$ の狙い目としては $h = 400 \text{\AA}$ となる。これらの設計指針に基づき本実施例ではガイド層4の波長組成を $\lambda_g = 1.10 \mu\text{m}$ 、回折格子3の高さを $400 \text{\AA}$ とした。

本発明によれば発振波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の $\lambda/4$ シフトDFB・LDにおいても同様に $KL = 1.5 \sim 2.0$ を目標としたデバイス設計が可能である。第2図(b)は1次の回折格子3を有する $1.55 \mu\text{m}$ 帯素子に対して、 $KL$ と $h$ の関係を $\lambda_g$ をパラメータとして示したものである。 $1.3 \mu\text{m}$ のInGaAsP層を用いるのであるが、この活性層5に効果的にキャリアを閉じ込めるためにはガイド層4の波長組成を $\lambda_g < 1.30 \mu\text{m}$ とする必要がある。これらの制約を考慮して $KL = 1.5 \sim 2.5$ を実現できる $h$ と $\lambda_g$ の範囲を図中の太線で示した。 $h$ に対す

る許容範囲が最も広くとれるという意味から、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯においては $\lambda_g = 1.20 \mu\text{m}$ が最適であり、この時の $h$ の狙い目としては $h = 400 \text{\AA}$ である。この様に1次の回折格子を有する波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯 $\lambda/4$ シフトDFB・LDでは、ガイド層4の波長組成を $\lambda_g = 1.20 \mu\text{m}$ 、回折格子3の高さを $h = 400 \text{\AA}$ と設定すれば、低閾値で且つ単一波長発振の歩留りに優れた素子が再現性よく得られる。この設計指針に基づき製作した $1.55 \mu\text{m}$ 帯 $\lambda/4$ シフトDFB・LDにおいて、発振しきい値電流の平均値として $19 \text{mA}$ 、ホールバーニング性2モード発振の発生確率4%と、良好な結果を得た。

以上、本実施例及びデバイス設計の説明においては、1次の回折格子格子3を有する素子についてのみ記述したが、本発明を2次、または3次の回折格子を有する素子についても有効である。その場合回折格子格子3の字数が大きくなればなるほど結合係数 $KL$ は低下するため、字数が大きくなるに従い、ガイド層4の波長組成 $\lambda_g$ を長波側

に変更する必要がある。

更に、本実施例では回折格子3がガイド層4の下に形成された例を示したが、ガイド層4が活性層5の上に、更に回折格子3がガイド層4の上に形成されたタイプの素子においても本発明は有効である。

尚、第2図に示したグラフは、回折格子を有するガイド層を、回折格子格子の山の高さ、ガイド層組成を種々変えて多数作り、各々の結合係数を実測して測定値をプロットすることで任意の組成に対して求めることができる。

(発明の効果)

本発明による $\lambda/4$ シフトDFB・LDにおいては、発振しきい値電流が低く、且つ単一波長発振の歩留りに優れるため、デバイスの結合歩留りが従来に比べ大幅に改善される。更に上記2つの改善は、一定出力を得るための駆動電流の低減、及び単一波長発振特性の安定性向上といった利点をもたらす。これにより $\lambda/4$ シフトDFB・LDの長期的な信頼度も一層向上する。

#### 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例である分布帰還型半導体レーザの構成図であり、図において1…n-InP基板、2…位相シフト傾斜、3…回折格子、4…n-InGaAsPガイド層、5…InGaAsP活性層、6…p-InPクラッド層、7…P-InGaAsPキャップ層、8、9…電極、10、11…ARコーティング膜である。

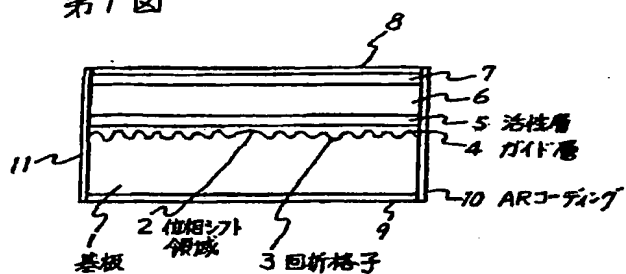
第2図は結合係数 $KL$ と回折格子の高さ $h$ との関係をガイド層の波長組成 $\lambda_g$ をパラメータとして示した図である。

第3図はホールバーニング性2モード発振の発生確率と結合係数 $KL$ との関係を示した図である。

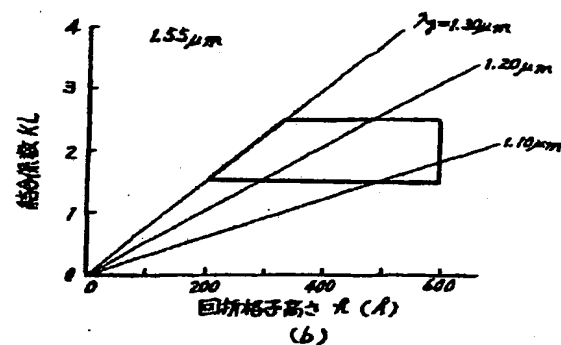
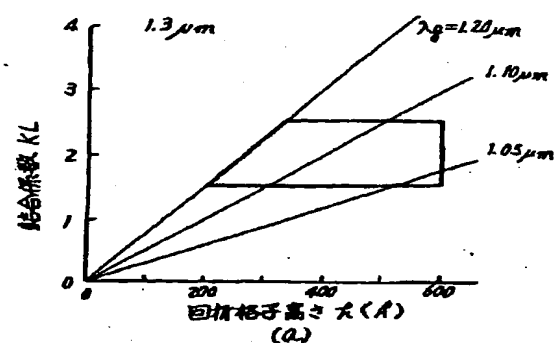
第4図は規格化発振しきい値電流と端面反射率との関係を結合係数 $KL$ をパラメータとして示した図である。

代理人 弁理士 内 原 晋

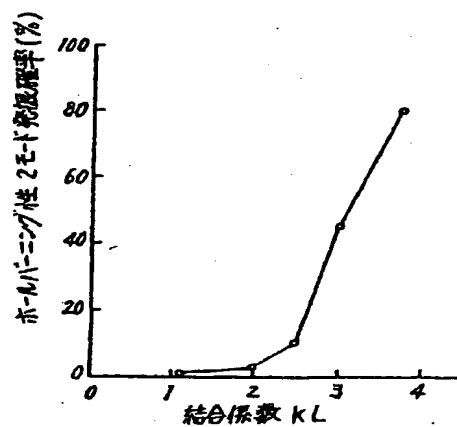
第1図



第2図



第3図



第4図

